

高水流量観測の現状と課題・今後の展開 —網走開発建設部管内における出水時無人観測の推進—

網走開発建設部 治水課 ○森岡 洸太朗
網走開発建設部 治水課 大島 省吾
(株)北開水工コンサルタント 佐々木 章允

従来の浮子を用いた高水流量観測は、近年多発する集中豪雨等による急激な河川水位上昇により水位上昇期（ピーク）の観測が困難な場合が多く、また、現場作業の危険性、観測地点までの移動距離、人手不足等も課題となっている。網走開発建設部では、これらの課題を解決するため、画像解析法を用いて高水流量観測の観測無人化に取り組んでおり、今後の現場実装に向けて、現状と課題及び今後の展開について報告する。

キーワード：高水流量観測、無人観測、画像解析、STIV

1. はじめに

高水流量観測は浮子を用いた従来法を基本として行っているが、近年多発する集中豪雨等による急激な河川水位上昇により水位上昇期やピーク水位時の観測が困難な場合が多くある。また、網走開発建設部管内では毎年ヒグマの目撃情報が多く、作業環境が危険であることに加え、拠点から観測所までの距離が遠い、人手不足等の課題もある（表-1）。

一方で近年は河川砂防技術基準（調査編）¹⁾にも掲載されている、電波式流速計や画像処理型流速測定法（以下、画像解析）を用いた非接触型流速測定法での流量観測が全国的に導入されてきている。

これらの手法は現地に観測機器を設置することで無人で流速・流量を観測することが可能であり、急激な河

川水位上昇時やピーク水位の観測、危険を伴う作業環境での観測、人手不足の解消等の課題解決が期待される。

網走開発建設部では、管内の高水流量観測地点において、画像解析に必要な水面映像をトレイルカメラを用いて無人撮影しており、その映像から画像解析により流速・流量を算出する、観測無人化に向けた取り組みを行っている。

本稿では、既に遠赤外線カメラと画像解析を用いて観測無人化に取り組んでいる上川沿観測所の事例を含め、今後の実用化や現場実装に向けて、現状及び課題、今後の展開を整理したので報告する。

表-1 拠点（網走市）から主要観測所までの距離・時間

河川	観測所	距離 (km)	移動時間 (min)	観測所の特徴
網走川	津別	44.1	54	最上流
	美幌	27.8	36	基準地点
美幌川	美幌橋	27.7	36	支川のため短時間でピーク到達
常呂川	置戸	76.3	90	最上流
	北見	43.6	54	基準地点
	上川沿	35.3	42	観測所近傍に橋が無い
	峰映	102.4	120	鹿ノ子ダム上流ヒグマ出没
湧別川	開盛	87.4	102	基準地点
生田原川	対遠橋	85.2	102	最上流
渚滑川	上渚滑	116.4	138	基準地点、最上流、ヒグマ出没



図-1 網走開発建設部管内の高水流量観測地点

2. 無人観測実施観測所

(1) 網走開発建設部管内での高水流量観測

網走管内には一級河川4水系（網走川、常呂川、湧別川、渚滑川水系）があり、鹿ノ子ダムが管理する水位観測所を含めた26地点の内、20地点で浮子観測による高水流量観測を行っている。

前述の課題を有する観測所のうち、課題解決の優先度が高い、美幌橋、北見、対遠橋、上渚滑、峰映、上川沿の6観測所を無人観測適用地点として選定した。

(2) 美幌橋観測所（網走川水系美幌川）

網走川と美幌川の合流点から2.4km上流に位置し、低水路幅約15m、堤々間約70mである。出水時の水位変動が短時間で起こり、水位上昇期やピーク時の観測に間に合わない事例が過去にあった。令和5年7月13日には1時間で約90mmの降雨があり、13日12時には8.26mだった水位が4時間後の16時には10.71mまで上昇した。

(3) 北見観測所（常呂川水系常呂川）

常呂川の河口から49.4km上流に位置し、常呂川の基準地点であり、低水路幅約50m、出水時の高水敷を含めた水面幅は約400mである。

平成28年8月出水のピーク水位時（図-3 写真右）に高水敷は冠水していたが流れはほぼ無く、流れのほとんどが低水路内を流下していた。

(4) 対遠橋観測所（湧別川水系生田原川）

湧別川と生田原川の合流点から約2km上流に位置し、低水路幅約30m、堤々間約90mである。観測環境には大きな課題は無いが、観測所にCCTV等の現地状況をリアルタイムで確認可能な手段が無いため、トレイルカメラによる観測で流量を算出するだけでなく、出水時の現地状況の確認も行うことが可能である。

(5) 上渚滑観測所（渚滑川水系渚滑川）

渚滑川の河口から約19km上流に位置し、低水路幅約60m、堤々間約110mである。過年度から観測所周辺でヒグマの目撃情報があるため作業に危険が伴うほか、拠点からの距離が最も遠い（片道約2.3時間）観測所である。

(6) 峰映観測所（常呂川水系常呂川 鹿ノ子ダム上流）

峰映観測所は鹿ノ子ダムから約6km上流に位置し、水面幅約15mである。山間部に位置するため、ヒグマとの遭遇の危険があるだけでなく、街灯等の照明が一切無いため作業環境が危険である。また、大雨時には土砂崩れ等による観測所までの経路が通行止めになる可能性もある（図-6）。



図-2 美幌橋観測所 平常時と出水時
(左：平常時 令和5年4月、右：出水時 令和5年7月)

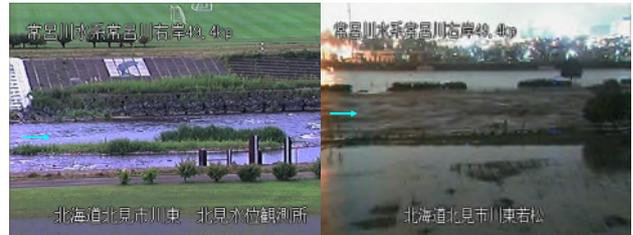


図-3 北見観測所 平常時と出水時
(左：平常時 令和5年8月、右：出水時 平成28年8月)



図-4 対遠橋観測所 平常時と出水時
(左：平常時 令和5年9月、右：出水時 令和5年10月)



図-5 上渚滑観測所 平常時と出水時
(左：平常時 令和5年9月、右：出水時 令和5年8月)



図-6 峰映観測所 平常時と出水時
(左：平常時 令和3年9月、右：出水時 令和3年11月)

(7) 上川沿観測所（常呂川水系常呂川）

常呂川の河口から約11km上流に位置し、低水路幅約40m、出水時の高水敷を含めた水面幅は約400mである（図-7）。洪水時の浮子観測は上流の太幌橋（KP12.7）で行っているが、太幌橋は堤々間に架かっていないため、高水敷冠水後は観測継続が困難となる。高水敷冠水後は下流の常呂大橋（KP1.6）に場所を変え観測を継続する

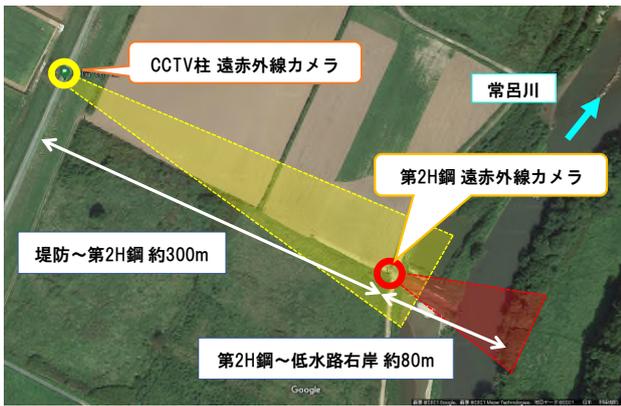


図-7 上川沿観測所

が、基準水位地点との距離が約9kmと遠く離れており、水位・流量に時間差が生じるだけでなく、河口に近いため潮位の影響を受け正確な流速・流量が観測できない等の問題がある。

3. 無人観測手法

各観測所の課題を解決するため、無人観測の導入による観測手法を検討した。

(1) 観測機器：トレイルカメラ

遠赤外線カメラでの観測は、カメラ本体が高価であることや、映像を記録・管理するマイクロサーバ、映像鮮明化装置等の機器が必要になるため全体的に高コストとなる。そこで、観測機器や設置のコストが低く、設置作業が比較的容易なトレイルカメラと赤外線照明、ソーラーパネル等を組み合わせたトレイルカメラシステム (図-8) を用いた。

トレイルカメラは、ハイクカム社製の広角レンズで広範囲を撮影可能なLS4Gを選定した。夜間は、カメラ本体の赤外線照明で水面を照らすことで水面の波紋を撮影可能だが、照射距離が20m程度であり、出水時の水面幅全体を照射することが困難である。そのため、100mまで照射可能な赤外線照明 (波長850nm) を別途設置し、トレイルカメラと同期させ、夜間の映像撮影開始と同時に赤外線照明を照射することで夜間の撮影可能範囲を広げた。

また、使用したトレイルカメラは広角レンズであり、レンズの曲率が高く、画像の端の歪みが強いいため、歪み補正を行い、幾何補正の精度向上を図った (図-9)。

映像の撮影間隔は30分、1回の撮影時間は30秒、解像度はフルHD (1920×1080) とした。観測期間は、鹿ノ子ダムの峰映観測所は令和2年から毎年夏期 (6月～11月)、その他は令和5年9月から観測を開始した。

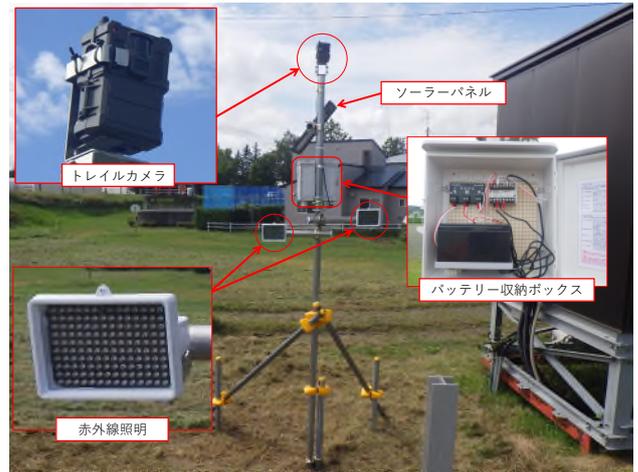


図-8 トレイルカメラシステム

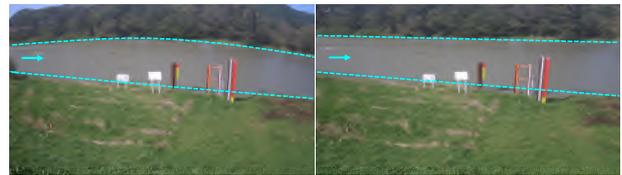


図-9 トレイルカメラ歪み補正 (左：補正前 右：補正後)



図-10 上川沿遠赤外線カメラ (左：低水路用 右：高水敷用)

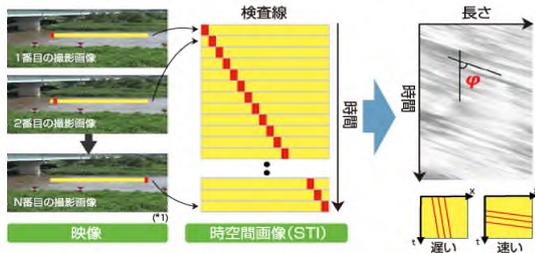
(2) 観測機器：遠赤外線カメラ

常呂川の上川沿観測所では、光源がない暗闇でも撮影可能である遠赤外線カメラ (FLIR社製 FC-Series O) を使用した画像解析を令和元年から導入し試験観測を行っており、大規模出水時は水面幅が400m以上になるため、令和3年からは低水路観測用と高水敷観測用の遠赤外線カメラ2台体制 (図-7、図-10) で夏期 (6月～11月) に観測を行っている²⁾。2台のカメラは撮影する水面幅に応じて異なる焦点距離のカメラレンズを選定し、気象条件等によって鮮明な映像が撮影できない場合や水面が鏡面状態になり流速解析が困難となる場合があるため、映像鮮明化装置 (インフラレッド社製 SV-200) を用いて撮影した映像を鮮明化し、水面等の視認性を向上させた。

(3) 画像解析手法

撮影した映像から流速を求める手法として、時空間画像 (以下、STI画像) を用いるSTIV法 (Space-Time Image Velocimetry) を採用し、映像からの流速解析には流速・流量計測ソフトウェア『Hydro-STIV』³⁾を使用した。

STIV法について図-11 (ハイドロ総合技術研究所HPより) に示す。STIV法は、カメラ映像上の水面に検査線



左図：映像から時空間画像（Space-Time Image：STI）を生成
 図中の黄色線は検査線、赤四角は表面波紋等の輝度値の特徴を表しています。時空間画像（STI）は検査線上の輝度値を時間方向に並べることで生成され、流速に応じた輝度分布の縞模様が現れます。

右図：時空間画像（STI）から流速（V）を計算
 流速は時空間画像（STI）の縞模様の傾き（φ）、長さ、および時間から計算されます。右下図は、φが小さい場合には流れが遅く、φが大き場合には流れが速いことを表します。

図-11 STIV法のイメージ

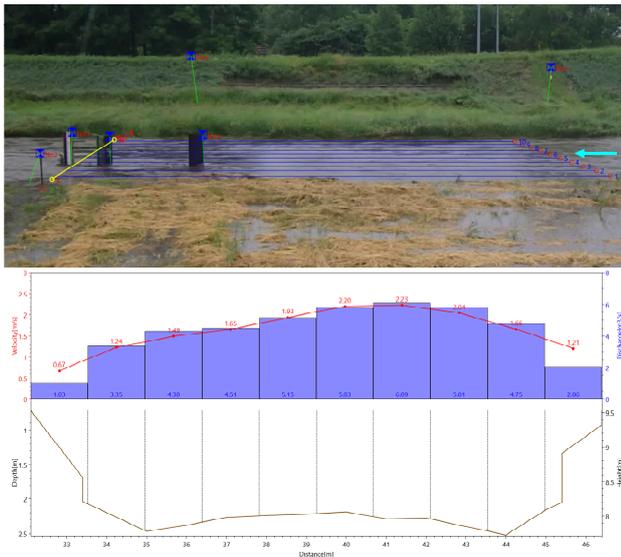


図-12 美幌橋 画像解析結果 上：検査線配置 下：横断面図
 （令和5年7月13日15時 H=10.25m ピーク前）

（図-11、黄色線）を配置し、その検査線上の波紋（図-11黄色線上の赤点）の移動速度を解析することで水表面流速を計測する手法である。動画から得られた連続した静止面を用いて、検査線上の輝度値を時間軸方向に積み重ねたSTI画像（図-11内右図、横軸：長さ、縦軸：時間の次元）に生じる縞パターンに傾きφから水表面流速を求める。流量算出時に用いる流速は水表面流速に画像解析において一般的に使用されている0.85⁴⁾を乗じた更正流速を使用し、流量は浮子観測と同様に「区分（測線毎）流速」に「区分断面積」を乗じて算出する「区分流量」を合算し算出した（図-12）。

(4) 出水発生前までの現地作業

撮影した映像からSTI画像を作成する際、撮影した映像を垂直撮影（真上から）の映像へ幾何補正を行う必要がある。そのため、映像画角内に標定点（図-13左）を設置し、測量座標を与えた。

遠赤外線カメラは可視光ではなく、放射エネルギー（熱）を可視化するため、木製やプラスチック製の標



図-13 幾何補正用標定点
 （左：トレイルカメラ用 右：遠赤外線カメラ用）

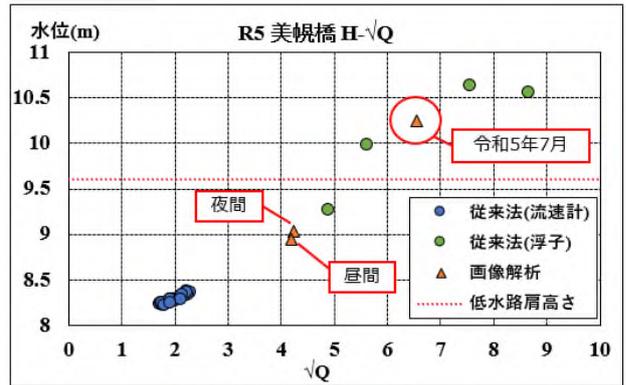


図-14 美幌橋 従来法と画像解析の比較（令和5年H-√Q）

定点では視認が難しくなる。そのため、標定点にアルミテープを貼り付け、空の放射（低温）を映し、地盤等との温度差を発生させることで標定点の視認性を確保した（図-13右）。

また、画像解析により流速、流量を求めるためには、解析時の水位と解析を行う測線の断面積が必要となるため、基準水位を測定している基準水位断面がカメラ画角内に収まるようにカメラを配置し、カメラ設置後や出水前後に基準水位断面の横断深浅測量を行った。

4. 観測結果

(1) 観測結果整理

トレイルカメラおよび遠赤外線カメラで撮影した映像を用いて画像解析により流量を算出した結果と、令和5年度の4月～11月の従来法（流速計、浮子）による流量観測結果を図-14～図-16、図-18、図-20に整理した。

美幌橋・北見・対遠橋・上渚滑はトレイルカメラを設置した令和5年9月～11月の観測結果を、峰映は令和3年～4年、上川沿は令和3年の観測結果をそれぞれ整理した。

(2) 美幌橋観測所（網走川水系美幌川）

図-2左のように平常時は水面を視認できないため、基準水位9.0m付近以上で画像解析を行った。低水路満杯程度での水位では昼間、夜間ともに精度良く画像解析により流量算出が可能であることを確認した（図-14）。

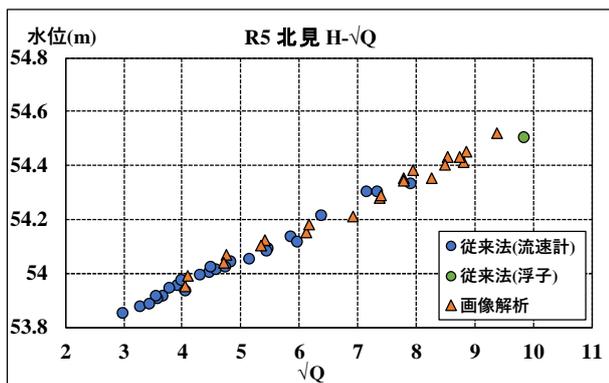


図-15 北見 従来法と画像解析の比較 (令和5年H-√Q)

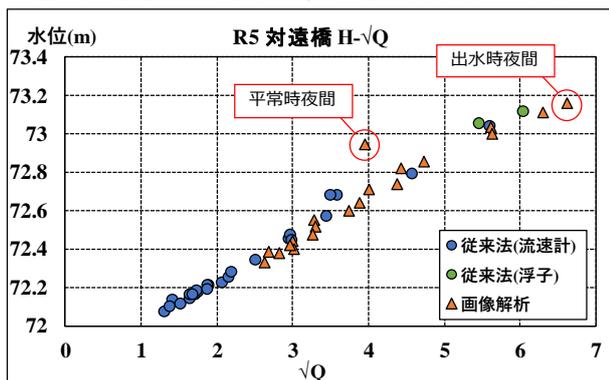


図-16 対遠橋 従来法と画像解析の比較 (令和5年 H-√Q)

また、カメラ設置前に発生した令和5年7月出水では、簡易的に設置したカメラで映像を撮影し画像解析を行った結果、高水敷冠水時も流量算出が可能であった。

(3) 北見観測所 (常呂川水系常呂川)

低水路幅が50mのため、昼夜ともに精度良く流量算出可能であった (図-15)。また、平常時でも水面の波紋が認識しやすいため、低い水位でも解析可能であった。

(4) 対遠橋観測所 (湧別川水系生田原川)

低水路幅は30mだが、高水敷にトレイルカメラを設置することができないため、堤防上に設置した。この場合、平常時はカメラから水面までの距離が50mと遠くなり、夜間は解析精度が低下する事例もあったが、概ね従来法と同等の精度で流量を算出可能であった (図-16)。

(5) 上渚滑観測所 (渚滑川水系渚滑川)

低水路幅は60mだが、カメラから低水路 (水面) までの距離も含めると対岸までは90mであり、手前の看板や高水敷での赤外線照明の反射が強く、奥側の水面が視認できないため (図-17 左)、夜間は平常時・出水時ともに解析不可能であった (図-18)。

昼間は概ね精度良く解析可能であったが、天候や時間帯により対岸樹木の影が水面に映りこみ、水面の波紋等の視認が困難な場合があった (図-17 右)。



図-17 上渚滑トレイルカメラ映像 (左: 夜間 右: 昼間)

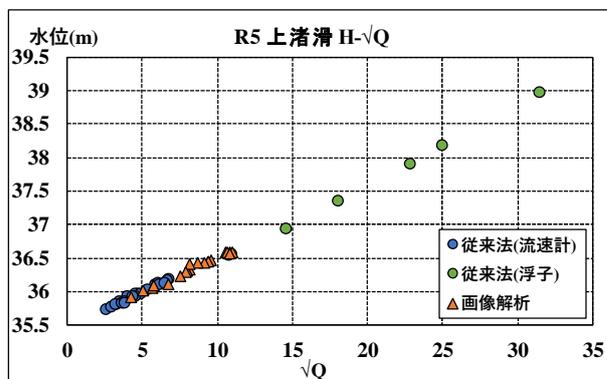


図-18 上渚滑 従来法と画像解析の比較 (令和5年 H-√Q)



図-19 峰映トレイルカメラ映像 (左: 出水時 右: 夜間)

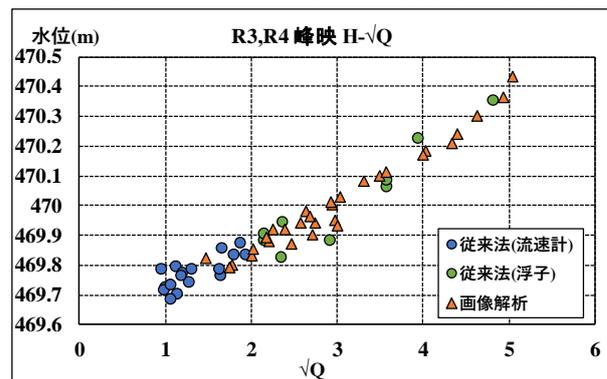


図-20 峰映 従来法と画像解析の比較 (令和3~4年 H-√Q)

(6) 峰映観測所 (常呂川水系常呂川 鹿ノ子ダム上流)

平常時・出水時ともに水面幅が比較的狭く、カメラから水面までの距離も近いため (図-19)、水位や時間帯に関係なく精度良く流量算出が可能であった (図-20)。

(7) 上川沿観測所 (常呂川水系常呂川)

令和3年11月に高水敷冠水以上の出水が発生したため、低水路用と高水敷用の2台の遠赤外線カメラでそれぞれ解析・算出した流量を合算して全体の流量を求め、令和3年の観測結果を図-21に整理した。

令和3年11月の出水では浮子観測を行う水位4m付近から令和3年最高水位の7m付近まで概ね従来法と同等の精度で観測されているが、水位 5~6m 付近で従来法と差が大きくなっている。

表-2 出水時の無人観測（画像解析）結果

河川	観測所	カメラ位置	カメラ種類	カメラから低水路まで	低水路水面幅	出水時水面幅	観測結果
美幌川	美幌橋	堤防上	トレイルカメラ	35m	15m	70m	◎：従来法と同等の精度で観測可能 夜間の高水敷冠水以上で検証が必要
常呂川	北見	低水路肩 (高水敷)	トレイルカメラ	30m	50m	400m	◎：従来法と同等の精度で観測可能 (低水路内の場合)
生田原川	対遠橋	堤防上	トレイルカメラ	60m	30m	90m	○：従来法と概ね同等の精度 夜間の小規模出水時は精度×
渚滑川	上渚滑	堤防上	トレイルカメラ	30m	60m	110m	△：夜間はほぼ観測不可 夜間は水面の波紋の視認が困難
鹿ノ子ダム (常呂川)	峰映	低水路肩	トレイルカメラ	10m	15m	20m	◎：従来法と同等の精度で観測可能
常呂川	上川沿	①高水敷 ②堤防上	遠赤外線 カメラ	40m (低水路用)	40m	400m	○：従来法と概ね同等の精度 R3年は遠赤外線カメラ2台体制で水面 幅400mでも観測実施

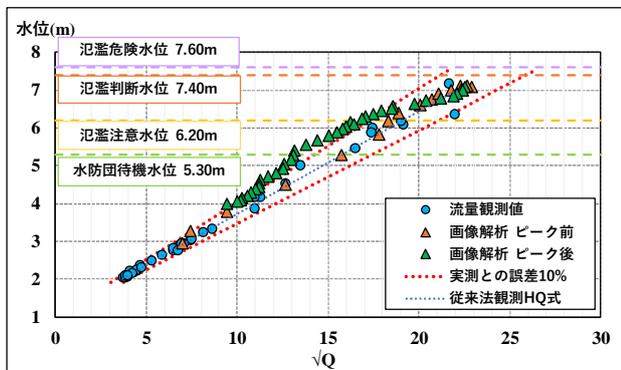


図-21 上川沿 従来法と画像解析の比較（令和3年H-√Q）



図-22 上川沿遠赤外線カメラ映像
(左：平常時 右：出水時)

要因として、浮子観測は1.8km上流の太幌橋で行い、画像解析は基準水位地点で観測を行っていること、流速・流量算出の測線数が異なること（浮子観測は4～5測線で浮子投下、画像解析は10測線以上で解析）が考えられる。

5. おわりに

網走開発建設部では、トレイルカメラや遠赤外線カメラを用いて、画像解析から出水時の流速、流量の観測無人化に向けた取組みを行った。今年度および過年度の画像解析による無人観測結果を表-2へ整理した。

トレイルカメラでは、水面幅が狭い、カメラから水面までの距離が短い、水面の波紋が視認しやすい観測所では昼夜ともに精度良く流速、流量を算出可能であった。

一方でカメラから水面までの距離が遠い、水面幅が広

い、カメラと水面の間に赤外線照明が強く反射する看板等が設置されている観測所では水面の波紋等の視認が困難であり、流速、流量の解析精度が低下もしくは解析不可能であった。これらは遠赤外線カメラを用いることで解決可能であるため、機器を遠赤外線カメラに切り替えて試験観測等を行っていく。

遠赤外線カメラでは、水面幅に応じた焦点距離のカメラレンズを選定し2台体制で観測を行い、令和3年の出水時に水面幅約400mで流速、流量を算出した。しかし、霧等が発生した時間帯は水面の視認が困難となり流速、流量の算出が不可能であった。昼間の時間帯は高感度カメラやフルHDカメラを併設することで補うことが可能であるが、霧等が発生した時間帯の観測はトレイルカメラ、遠赤外線カメラ共に今後の課題である。

また、画像解析による流速・流量の精度を確保するため、低水路肩付近や高水敷の除草、樹木伐採等の観測所整備、定期的な観測機器のメンテナンスが必要となる。

今後は、引き続き各観測所に適した観測機器、観測方法の選定、浮子観測等との精度確認を行い、浮子観測から非接触型流速測定法への移行、高水流量観測の完全無人化へ対応可能な体制を構築していく。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 調査編，第2章 第4節 4.8 非接触型流速計測法，令和5年10月。
- 2) 佐々木章允・渡邊康玄・井上和哉ら：常呂川における流量観測高度化の取り組みと流量算出精度向上の検討，河川技術論文集，第29巻，2023年6月。
- 3) 株式会社ハイドロ総合技術研究所：流速・流量計測システム Hydro-STIV。
- 4) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室：非接触型流速計測法の手引き（案），令和5年3月。
- 5) 土田宏一・藤田一郎・芳賀聖一ら：STIV法とトレイルカメラによる低コスト流速観測手法，河川技術論文集，第23巻，2017年6月